



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 15 873 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
H 02 P 6/06

②① Aktenzeichen: 101 15 873.4
②② Anmeldetag: 30. 3. 2001
④③ Offenlegungstag: 17. 10. 2002

DE 101 15 873 A 1

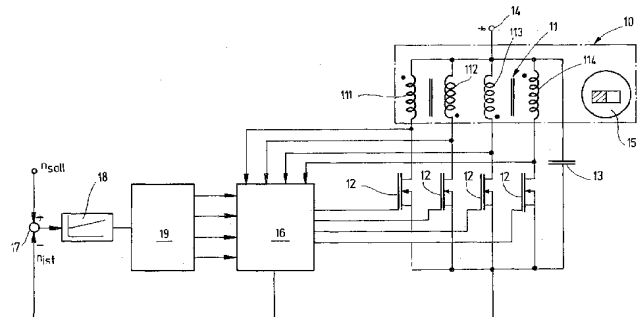
⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Kessler, Martin, 75233 Tiefenbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Steuerung eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zur Steuerung eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors (10) mit einer geradzahlig mehrphasigen Statorwicklung (11), deren Wicklungsphasen (111-114) in Reihe mit je einem steuerbaren Halbleiterschalter (12) zueinander parallelgeschaltet sind, angegeben, bei dem in einem unteren Leistungsbereich des Gleichstrommotors (10) die Halbleiterschalter (12) innerhalb von in den einzelnen Wicklungsphasen (111-114) aufeinanderfolgenden Bestromungszeiten mit einem drehzahlabhängig vorgebbaren Tastverhältnis getaktet werden. Zur Reduzierung der in einem bestimmten Drehzahlbereich auftretenden maximalen Verlustleistungen in den Halbleiterschaltern (12) wird ein für eine in diesem Drehzahlbereich liegende Soll-Drehzahl erforderliches Soll-Tastverhältnis dadurch eingestellt, daß ein demgegenüber größeres und kleineres Tastverhältnis wechselweise eingestellt und die Einstellung der beiden Tastverhältnisse zeitlich so variiert wird, daß an der Statorwicklung (11) im Zeitmittel eine die Soll-Drehzahl (n_{soll}) einregelnde Spannung liegt (Fig. 1).



DE 101 15 873 A 1

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Steuerung eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Bei einer bekannten elektronischen Steuerschaltung für einen elektronisch kommutierten Gleichstrommotor (EC-Motor) mit einer dreiphasigen Statorwicklung und einem permanentmagneterregten Rotor (DE 43 10 260 C1) sind drei als MOS-FET ausgebildete Halbleiterschalter jeweils in Reihe mit einer Wicklungsphase der Statorwicklung geschaltet und die drei Reihenschaltungen in Parallelschaltung angeordnet. Die Steueranschlüsse der Halbleiterschalter sind von rotorstellungsabhängig kommutierungssignalgetriggerten Steuersignalen derart beaufschlagbar, daß die Halbleiterschalter mit einem durch die Länge der Steuersignale vorgebbaren Stromflußwinkel innerhalb des Kommutierungswinkels betreibbar sind (Blocksteuerung). Um die Nachteile der Blocksteuerung im unteren Drehzahlbereich (Auftreten hoher Stromspitzen bei langsam laufenden Motor und erhöhte Geräuscentwicklung) zu vermeiden, wird in einem unteren Drehzahlabschnitt bei einem Stromflußwinkel mit einem Ansteuergrad von 100% die Amplitude der Steuersignale mit zunehmender Drehzahl bis zu einer ersten Drehzahl erhöht (Linearsteuerung), dann mit zunehmender Drehzahl bis zu einer zweiten Drehzahl die Amplitude der Steuersignale bis zu einem Maximum erhöht und gleichzeitig der Ansteuergrad des Stromflußwinkels (Blocklänge) von 100% auf einen kleineren Wert verringert. Ab der zweiten Drehzahl wird dann mit zunehmender Drehzahl bis zur Maximaldrehzahl bei Maximalamplitude der Steuersignale der Ansteuergrad von dem kleineren Wert bis auf 100% erhöht. Die reine Blocksteuerung im oberen Drehzahlbereich vermeidet die der Linearsteuerung anhaftenden Nachteile des schlechteren Wirkungsgrads.

[0003] Bei drehzahlverstellbaren EC-Motoren, auch bürstenlose Gleichstrommotoren genannt, gibt es Motortopologien, bei denen die Verlustleistung in den Halbleiterschaltern nicht mit der Motorleistung zunimmt, sondern im Teillastbereich höher sind als im Volllastbereich. Dies ist besonders nachteilig für Antriebe, deren Eigenkühlung mit steigender Leistungsabgabe des Gleichstrommotors zunimmt, wie z. B. bei Pumpenmotoren, die sich über das zu fördernde Medium kühlen. Solche Motortopologien finden sich z. B. bei EC-Motoren mit einer ein- oder mehrsträngigen, geradzahligem Mehrphasenwicklung, z. B. einer zweisträngigen Vierphasenwicklung oder einer dreisträngigen Sechshephasenwicklung. Diese EC-Motoren werden im Taktbetrieb durch Pulsweiten(PW)-Modulation gesteuert. Mit zunehmenden Tastverhältnis der Taktung, das ist die Einschaltzeit des Halbleiterschalters bezogen auf die Taktperiode, nehmen jedoch die Verlustleistungen der Halbleiterschalter überproportional zu, so daß man bei solchen EC-Motoren in dem oberen Bereich des Leistungsspektrums des Motors auf den Taktbetrieb verzichtet und die Motorleistung mit Blocksteuerung durch Variation der Blocklänge verändert, wobei sich die Bestromungszeiträume der einzelnen Wicklungsphasen zunehmend überlappen. Bei dieser Art Steuerung hat sich jedoch gezeigt, daß die maximale Verlustleistung der Halbleiterschalter kurz vor dem Übergang vom Takt- auf den Blockbetrieb auftreten.

Vorteile der Erfindung

[0004] Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, daß das Einstellen

von bestimmten, für gewünschte Soll-drehzahlen erforderlichen Tastverhältnissen, die große Verlustleistung in den Halbleiterschaltern entstehen lassen, vermieden wird und die jeweilige Soll-drehzahl mit einer zeitlichen Variation von solchen Tastverhältnissen erreicht wird, die weniger Verlustleistungen in den Halbleiterschaltern hervorrufen. Dadurch werden im Teillastbereich die maximalen Verluste der Halbleiterschalter wirksam verringert und wird der Wirkungsgrad des Gleichstrommotors verbessert. Damit einher geht eine Verringerung des notwendigen Kühlaufwands für die Halbleiterschalter, für die nunmehr kleinere Kühlkörper ausreichend sind, was wiederum zu einer Bauraum- und Kosteneinsparung führt.

[0005] Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert keinen zusätzlichen Hardwareaufwand. Alle Steuereingriffe in die Kommutierungssignale werden bei der ohnehin vorhandenen Hardware durch Softwaremodule realisiert. Insgesamt erbringt somit das erfindungsgemäße Verfahren eine Wirkungsgradverbesserung und eine Kostenersparnis bei der Herstellung der in Rede stehenden EC-Motoren.

[0006] Durch die in den weiteren Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich.

[0007] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens werden das kleinere und das größere Tastverhältnis so gewählt, daß die bei diesen Tastverhältnissen in den Halbleiterschaltern jeweils entstehende Verlustleistung kleiner ist als die beim Soll-Tastverhältnis entstehende Verlustleistung. Das Soll-Tastverhältnis wird dadurch erreicht, daß zwischen den beiden Tastverhältnissen variiert wird, wobei die Frequenz der Variation zwischen den Tastverhältnissen an konstruktive Eigenschaften des Gleichstrommotors, z. B. an dessen Massenträgheitsmoment, angepaßt wird. So können während der Bestromung jeweils einer der Wicklungsphasen nacheinander die beiden verschiedenen Tastverhältnisse eingestellt werden aber auch die beiden Tastverhältnisse nach einer halben, ganzen oder einem Vielfachen einer elektrischen Umdrehung des Motors umgestellt werden.

Zeichnung

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren ist anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels eines EC-Motors mit elektronischer Steuervorrichtung in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

[0009] Fig. 1 ein Blockschaltbild eines EC-Motors mit elektronischer Steuerung,

[0010] Fig. 2 ein Diagramm der Verlustleistung der Halbleiterschalter im EC-Motor in Abhängigkeit von der Drehzahl des EC-Motors,

[0011] Fig. 3 ein Diagramm der Steuersignale für die Halbleiterschalter in jeder Wicklungsphase für drei verschiedene Steuerarten.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0012] Bei dem in Fig. 1 im Blockschaltbild dargestellten Ausführungsbeispiel zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor, im folgenden EC-Motor 10 genannt, in Abhängigkeit eines vorgebbaren Drehzahl-Sollwerts n_{soll} auf die entsprechende Drehzahl eingestellt beziehungsweise geregelt. Der EC-Motor 10 besitzt eine zweisträngige, mehrphasige Statorwicklung 11 mit einer geraden Zahl m , hier $m = 4$, Wicklungsphasen 111–114 und einen permanentmagneterregten Rotor 15. Jeweils die Wicklungsphasen 111, 112 bzw. 113, 114 eines jeden Wicklungsstrangs sind gegenseitig ge-

wickelt und induktiv gekoppelt. Jede der Wicklungsphasen **111–114** ist in Reihe mit einem Halbleiterschalter **12**, der hier als MOS-FET ausgeführt ist, in Reihe geschaltet. Die vier Reihenschaltungen aus jeweils einer Wicklungsphase **111–114** und einem Halbleiterschalter **12** sind zusammen mit einem Kondensator **13** in einer Parallelschaltung angeordnet, die an einem Gleichspannungsnetz **14** angeschlossen ist, wobei der Verknüpfungspunkt der vier Wicklungsphasen **111–114** mit dem positiven Pol des Gleichspannungsnetzes **14** und der Verknüpfungspunkt der Halbleiterschalter **12** mit dem Massepotential verbunden ist.

[0013] Die Wicklungsphasen **111–114** sind weiterhin mit einer Kommutierungsvorrichtung **16** verbunden, in der die in den Wicklungsphasen **111–114** induzierten Spannungen zu Kommutierungssignalen weiterverarbeitet werden. Weiterhin wird in der Kommutierungsvorrichtung **16** aus den induzierten Spannungen ein Drehzahlsignal generiert, das der Ist-Drehzahl reist des EC-Motors **10** entspricht und als drehzahlproportionales Gleichspannungssignal an einer z. B. als Differenzverstärker ausgebildeten Vergleichsstelle **17** liegt, der auch der Drehzahl-Sollwert n_{soll} zugeführt wird. In der Vergleichsstelle **17** werden Drehzahl-Sollwert n_{soll} und Drehzahl-Istwert n_{ist} miteinander verglichen, und die Abweichung wird einem Drehzahlregler **18** zugeführt. Das Reglerausgangssignal liegt an dem Eingang eines Pulsweitenmodulators **19**. Der Pulsweitenmodulator **19** generiert getrennt für jede Wicklungsphase **111–114** eine Steuerpulsfolge, die in der Kommutierungsvorrichtung **16** mit den Kommutierungssignalen verknüpft werden. Mit den aus den Verknüpfungen entstehenden Steuersignalen werden die Halbleiterschalter **12** der einzelnen Wicklungsphasen **111–114** angesteuert, so daß jeder Halbleiterschalter **12** während seiner Bestromung mit einem drehzahlabhängigen Tastverhältnis getaktet wird. Die Taktung der Halbleiterschalter **12** bestimmt die Größe der am EC-Motor **10** bzw. an dessen Statorwicklung **11** anliegenden Gleichspannung, und durch deren Veränderung wird die Drehzahl geregelt, wobei das Nennndrehmoment in allen Drehzahlstufen voll in Anspruch genommen werden kann.

[0014] Bei einem solchermaßen gesteuerten EC-Motor **10** nimmt die Verlustleistung der Halbleiterschalter **12** mit größer werdendem Tastverhältnis, das ist der Quotient aus Pulsbreite zur Pulsperiode, also mit zunehmender Pulsweitenmodulation zu. Deswegen hat man sich darauf beschränkt, den Motor nur in der unteren Hälfte des Leistungsspektrums im Taktbetrieb durch Pulsweitenmodulation zu steuern und in der oberen Hälfte die Leistung des Motors durch Blocksteuerung zu verändern, und zwar durch Vergrößerung des Bestromungswinkels jeder Wicklungsphase über den Kommutierungswinkel hinaus. Im Ausführungsbeispiel des vierphasigen EC-Motors gemäß **Fig. 1** beträgt der Kommutierungswinkel 90° elektrisch. Diese Umschaltung des Steuermodus für die Halbleiterschalter **12** erfolgt bei einer weit unterhalb der Leerlaufdrehzahl liegenden Drehzahl n_b , die mit einer Pulsweitenmodulation von 100% bei einem Bestromungswinkel von 90° elektrisch erreicht wird.

[0015] In **Fig. 2** ist die Verlustleistung P der Halbleiterschalter **12** in Abhängigkeit von der Drehzahl n des EC-Motors **10** dargestellt. Deutlich ist zu sehen, daß kurz vor Erreichen der Drehzahl n_b , also kurz vor dem Übergang von der Taktsteuerung in die Blocksteuerung, die Verlustleistung P extrem ansteigt. Im Beispiel der **Fig. 2** tritt die maximale Verlustleistung P bei einem Tastverhältnis oder einer Pulsweitenmodulation von 95% auf. Um diese Verlustleistung zu reduzieren und damit den Wirkungsgrad des EC-Motors **10** zu verbessern, wird in dem Pulsweitenmodulator **19** folgendes Steuerverfahren zur Erzeugung der Steuersignale für die Halbleiterschalter **12** angewendet:

In den vom Pulsweitenmodulator **19** insgesamt erstellbaren Tastverhältnissen ist ein bestimmter Einstellbereich des Tastverhältnisses ausgewählt, in dem die bei jedem Tastverhältnis in den Halbleiterschaltern **12** entstehende Verlustleistung einen Vorgabewert übersteigt. Im Beispiel der **Fig. 2** ist dieser Einstellbereich beispielsweise zwischen einer Pulsweitenmodulation oder einem Tastverhältnis von 80% und einer Pulsweitenmodulation oder einem Tastverhältnis von 100% gewählt. Bei diesen beiden Pulsweitenmodulationen oder Tastverhältnissen ist die in den Halbleiterschaltern **12** entstehende Verlustleistung etwa gleich groß, während in dem dazwischenliegenden Bereich des Tastverhältnisses bzw. der Pulsweitenmodulation die Verlustleistung der Halbleiterschalter **12** immer einen größeren Wert annimmt. Ist nunmehr aufgrund einer geforderten Solldrehzahl n_{soll} ein Soll-Tastverhältnis erforderlich, das in diesem ausgewählten Bereich liegt, im Beispiel also zwischen einem Tastverhältnis oder einer Pulsweitenmodulation von 80% und einem Tastverhältnis oder einer Pulsweitenmodulation von 100%, so wird ein gegenüber diesem Soll-Tastverhältnis größeres und kleineres Tastverhältnis eingestellt, die beide außerhalb des ausgewählten Einstellbereichs liegen, und die beiden Tastverhältnisse werden zeitlich so variiert, daß sich an der Statorwicklung **11** im Zeitmittel eine Spannung ergibt, die einer mit dem Soll-Tastverhältnis erzeugten Spannung entspricht und die Solldrehzahl n_{soll} einregelt. Im Ausführungsbeispiel wird beispielsweise das kleinere Tastverhältnis mit 80% und das größere Tastverhältnis mit 100% eingestellt und die Einstellung zeitlich entsprechend variiert. Die Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen ist dabei an die konstruktiven Eigenschaften des EC-Motors **10**, z. B. an dessen Massenträgheitsmoment, angepaßt, und die Variation kann in verschiedener Weise vorgenommen werden.

[0016] Zur Erzielung einer mittleren Spannung an der Statorwicklung **11**, die ein Tastverhältnis oder eine Pulsweitenmodulation von 90% erfordern würde, und die gewünschte Solldrehzahl n_{soll} einregelt, sind in **Fig. 3** drei verschiedene Möglichkeiten der Variation der beiden Tastverhältnisse dargestellt. In allen drei Beispielen beträgt das kleinere Tastverhältnis 80% und das größere Tastverhältnis 100%. In **Fig. 3a** und **3b** ist für jede Wicklungsphase **111–114** jeweils eine Periode eines Kommutierungssignals dargestellt, das während einer Umdrehung des Rotors **15** um 360° elektrisch jeweils an dem zugeordneten Halbleiterschalter **12** liegt. In **Fig. 3c** sind mehrere Perioden der Kommutierungssignale dargestellt.

[0017] In dem Beispiel gemäß **Fig. 3a** wird die Einstellung der beiden Tastverhältnisse so variiert, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen der Bestromungszeit einer Wicklungsphase **111–114** entspricht, d. h. während der Bestromung einer Wicklungsphase **111–114** (bei einer Umdrehung des Rotors **15** um 360° elektrisch) wird aufeinanderfolgend das Tastverhältnis 100% und das Tastverhältnis 80% eingestellt, so daß jeder Halbleiterschalter **12** in einer Wicklungsphase **111–114** im Mittel mit einem fiktiven Tastverhältnis von 90% getaktet wird, wobei lediglich eine Verlustleistung in den Halbleiterschaltern **12** entsteht, die sich als mittlere Verlustleistung aus der wesentlich niedriger liegenden Verlustleistung bei einem Tastverhältnis von 80% und einem Tastverhältnis von 100% ergibt. Die Bestromungszeit einer Wicklungsphase **111–114** berechnet sich aus dem konstanten Bestromungswinkel der Wicklungsphase **111–114**, der für die angenommene Vierphasenwicklung **11** 360° elektrisch dividiert durch 4, also 90° elektrisch, beträgt, unter Berücksichtigung der Drehzahl des EC-Motors **10**. Muß z. B. eine Soll-Drehzahl n_{soll} eingestellt werden, die eine

Spannung am EC-Motor **10** erfordert, die mit einem Tastverhältnis oder einer Pulsweitenmodulation von 95% eingestellt werden müßte, und die maximale Verlustleistung in den Halbleiterschaltern **12** auslösen würde, so wird innerhalb der Bestromungszeit der einzelnen Wicklungsphase **111–114** der Zeitabschnitt, in dem der zugeordnete Halbleiterschalter **12** mit dem kleineren Tastverhältnis von 80% angesteuert wird, entsprechend verkleinert, so daß sich im Mittel ein fiktives Tastverhältnis von 95% ergibt. Wie in dem Diagramm der **Fig. 2** strichliniert eingezeichnet ist, wird damit die erhöhte Verlustleistung in dem Bereich zwischen einem Taktverhältnis von 80% und einem Tastverhältnis von 100% erheblich reduziert und übersteigt nicht die Verlustleistung, die bei einem Tastverhältnis von 80% in den Halbleiterschaltern **12** erzeugt wird.

[0018] Bei dem Beispiel gemäß **Fig. 3b** wird die Einstellung der beiden Tastverhältnisse von 80% und 100% in der Weise Variiert, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen einer halben elektrischen Umdrehung des EC-Motors **10** entspricht. So werden die Wicklungsphasen **111** und **113** mit einem Tastverhältnis von 100% und die Wicklungsphasen **112** und **114** mit einem Tastverhältnis von 80% angesteuert, so daß sich im Mittel ein fiktives Tastverhältnis von 90% ergibt, somit sich – wie beschrieben – die Verlustleistung reduziert. Ein fiktives Tastverhältnis von 95% wird erreicht, indem beispielsweise die Wicklungsphasen **111**, **112** und **113** mit einem Tastverhältnis von 100% und die Wicklungsphase **114** mit einem Tastverhältnis von 80% getaktet wird. Die sich dabei ergebende Verlustleistung entspricht im Mittel einer Verlustleistung, die sich bei einem Tastverhältnis von 80% oder einem Tastverhältnis von 100% ergibt und liegt damit deutlich niedriger als die Verlustleistung, die mit einem Tastverhältnis von 95% erzeugt würde.

[0019] Im Beispiel der **Fig. 3c** wird zur Erzielung eines fiktiven Tastverhältnisses von 90% die Einstellung des Tastverhältnisses von 80% und des Tastverhältnisses von 100% so variiert, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen einer vollen elektrischen Umdrehung des EC-Motors **10** entspricht. Dabei wird in aufeinanderfolgenden Umdrehungen des EC-Motors **10** jede Wicklungsphase **111–114** abwechselnd mit einem Tastverhältnis von 100% und einem Tastverhältnis von 80% angesteuert.

[0020] Der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen 80% und 100% kann aber auch einem Vielfachen einer elektrischen Umdrehung des EC-Motors **10** entsprechen. So kann beispielsweise jede Wicklungsphase **111–114** während zwei elektrischen Umdrehungen mit einem Tastverhältnis von 100% und während einer dritten elektrischen Umdrehung mit einem Tastverhältnis von 80% angesteuert werden. Im Mittel würde sich dann eine Ansteuerung mit einem fiktiven Tastverhältnis von 95% ergeben, wobei allerdings wesentlich weniger Verlustleistung in den Halbleiterschaltern **12** anfällt als bei einer Ansteuerung eines jeden Halbleiterschalters **12** mit dem tatsächlichen Tastverhältnis von 95%.

[0021] Die Erfindung ist nicht auf das beschriebene Ausführungsbeispiel eines zweisträngigen, vierphasigen EC-Motors **10** beschränkt. Das gleiche Steuerverfahren kann beispielsweise auch für einen EC-Motor mit einer dreisträngigen, sechsphasigen Statorwicklung angewendet werden, bei dem ebenfalls die gegensinnig gewickelten Wicklungsphasen eines Wicklungsstrangs induktiv gekoppelt sind, also eine gleiche Motortopologie aufweisen wie der beschriebene EC-Motor **10**.

1. Verfahren zur Steuerung eines elektronisch kommutierten Gleichstrommotors (**10**) mit einer mehrphasigen Statorwicklung (**11**), die eine gerade Zahl m Wicklungsphasen (**111–114**) aufweist, die in Reihe mit je einem steuerbaren Halbleiterschalter (**12**) zueinander parallelgeschaltet sind, bei dem in einem unteren Leistungsbereich des Gleichstrommotors (**10**) die Halbleiterschalter (**12**) innerhalb von in den einzelnen Wicklungsphasen (**111–114**) aufeinanderfolgenden Bestromungszeiten mit einem drehzahlabhängig vorgebbaren Tastverhältnis getaktet werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein für eine Soll-Drehzahl erforderliches Soll-Tastverhältnis innerhalb eines ausgewählten Einstellbereichs des Tastverhältnisses dadurch erreicht wird, daß ein demgegenüber größeres Tastverhältnis und ein demgegenüber kleineres Tastverhältnis wechselweise eingestellt und die Einstellung der beiden Tastverhältnisse zeitlich so variiert wird, daß an der Statorwicklung (**11**) im Zeitmittel eine die Solldrehzahl (n_{soll}) einregelnde Spannung liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das kleinere Tastverhältnis und das größere Tastverhältnis so gewählt werden, daß die bei diesen Tastverhältnissen in den Halbleiterschaltern (**12**) jeweils entstehende Verlustleistung kleiner ist als die bei dem Soll-Tastverhältnis auftretende Verlustleistung.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der ausgewählte Einstellbereich des Tastverhältnisses derjenige Bereich ist, in dem die bei jedem Tastverhältnis in den Halbleiterschaltern (**12**) entstehende Verlustleistung einen Vorgabewert übersteigt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als größeres Tastverhältnis ein Tastverhältnis von 100% gewählt wird, bei dem die Einschaltzeit der Halbleiterschalter (**12**) gleich der Schaltperiode ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß als kleineres Tastverhältnis ein Tastverhältnis von 80% gewählt wird, bei dem die Einschaltzeit der Halbleiterschalter (**12**) 80% der Schaltperiode beträgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Variation zwischen den Tastverhältnissen an konstruktive Eigenschaften des Gleichstrommotors (**10**), z. B. dessen Massenträgheitsmoment, angepaßt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen der Bestromungszeit einer Wicklungsphase entspricht.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Tastverhältnis während der Bestromungszeit einer jeden Wicklungsphase (**111–114**) innerhalb einer elektrischen Umdrehung des Gleichstrommotors (**10**) mindestens einmal für einen entsprechend vorgegeben Bestromungszeitabschnitt auftritt.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den beiden Tastverhältnissen einer halben elektrischen Umdrehung des Gleichstrommotors (**10**) entspricht.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Tastverhältnis während einer elektrischen Umdrehung des Gleichstrommotors (**10**) in aufeinanderfolgenden Wicklungsphasen (**111–114**) variiert wird.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

net, daß der Kehrwert der Frequenz der Variation zwischen den Tastverhältnissen mindestens einer elektrischen Umdrehung des Gleichstrommotors **(10)** entspricht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß jedes der beiden Tastverhältnisse während einer elektrischen Umdrehung des Gleichstrommotors **(10)** in allen Wicklungsphasen **(111–114)** unverändert gehalten wird und in jeder n-ten elektrischen Umdrehung das Tastverhältnis variiert wird, wobei n eine ganze Zahl gleich oder größer 2 ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–12, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestromungszeit der Wicklungsphasen **(111–114)** unter Berücksichtigung der Motordrehzahl von einem in jeder Wicklungsphase **(111–114)** konstanten Bestromungswinkel abgeleitet ist, der aus dem Quotienten von 360° elektrisch dividiert durch die gerade Anzahl m der Wicklungsphasen **(111–114)** berechnet wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

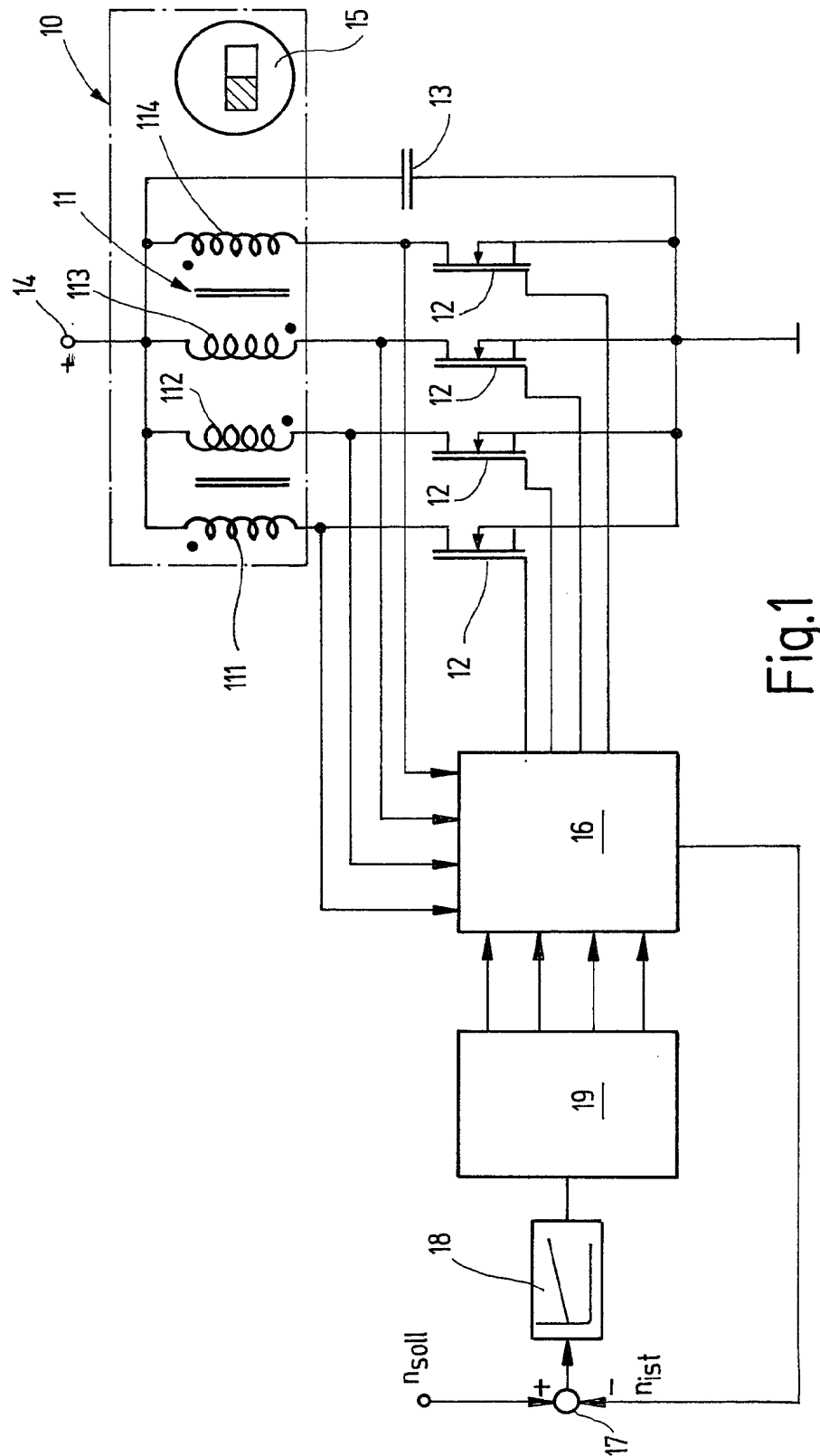


Fig.1

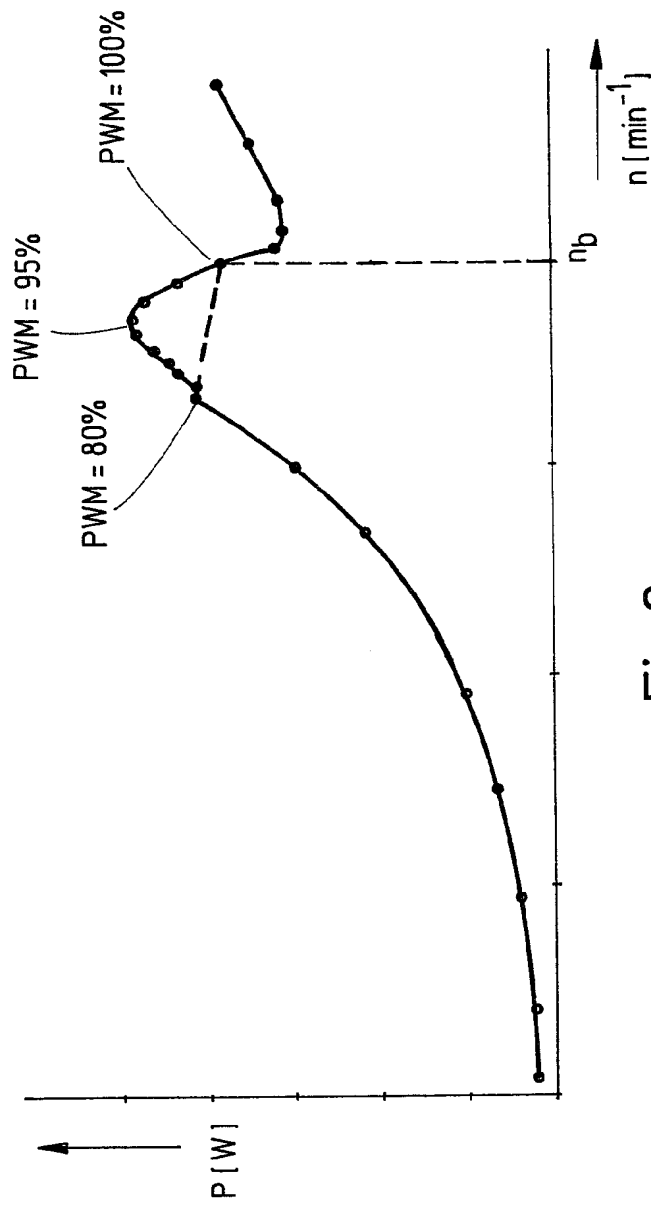


Fig.2

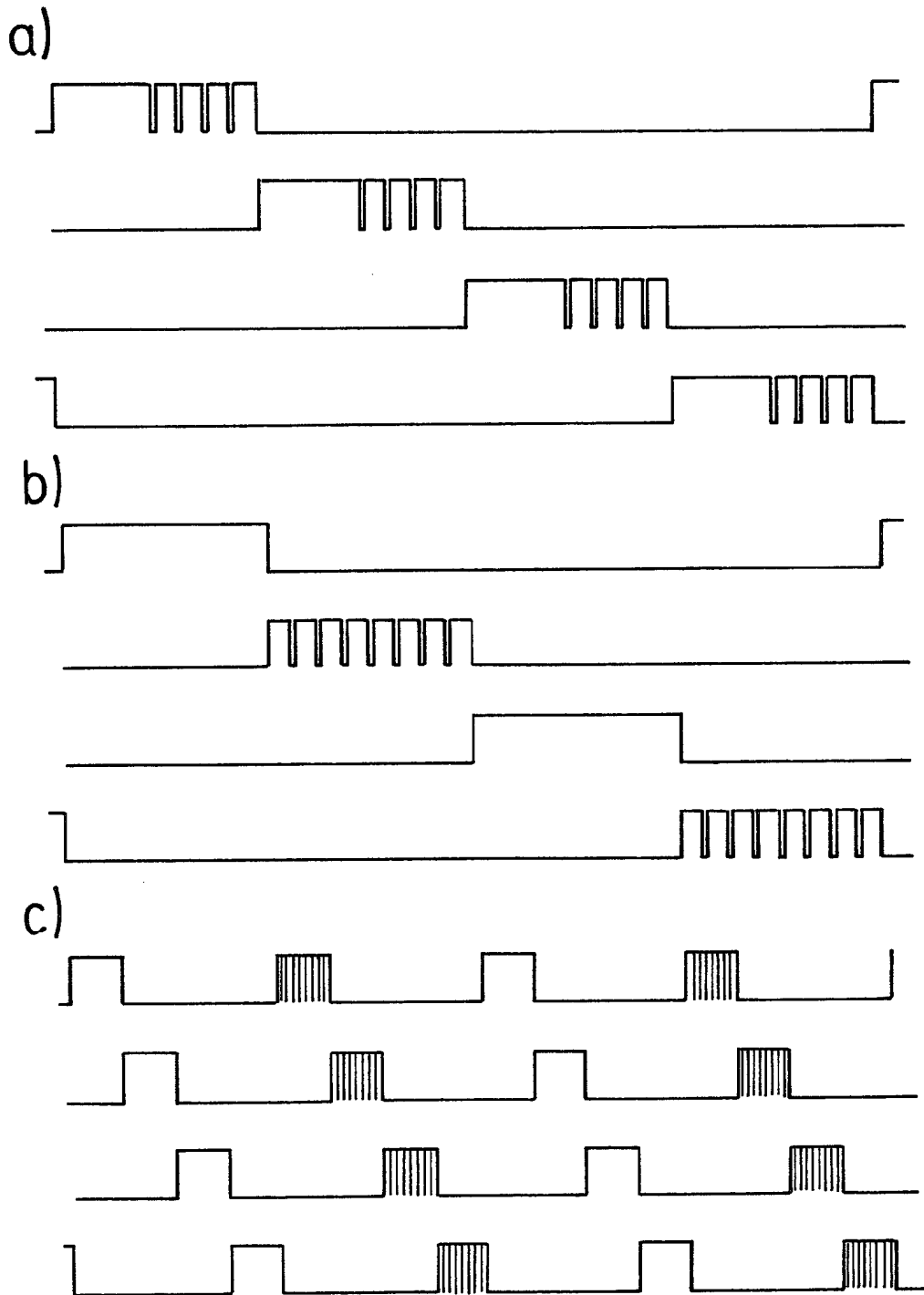


Fig.3